基于 STEP 的航空发动机工作叶片特征建模[1)]

赵 炜 马 枚
(北京航空航天大学 动力系)

摘 要 对并行工程环境下航空发动机转子工作叶片基于特征的设计进行了研究和探索. 在对叶片的结构特点进行分析的基础上, 借助参数化特征建模技术, 按照 STEP(AP203PAP214) 标准, 建立了工作叶片的特征体系结构, 并以此实现了一个三维实体特征建模系统. 继而, 在实现了模型由设计平台向分析平台的传递之后, 成功地完成了模型的有限元静强度和振动分析.

关键词 航空发动机; 叶片; 计算机辅助设计; 计算机辅助工程; 并行工程; STEP; 特征建模
分类号 V 232. 4

工作叶片是航空发动机的重要零件之一. 它直接影响发动机的气动性能、工作可靠性、重量及成本. 使用中它的故障也较其它零件为多. 因此, 无论在叶片设计、制造或使用维修中, 所投入的劳动都是大量的.

为了减少设计者的工作量, 方便地进行设计, 并且使所设计的产品模型能够直接为下游的工程分析和制造过程使用, 缩短设计产品的周期和成本, 按照并行工程的方法, 遵循国际产品数据交换标准(STEP) , 使用参数化特征建模技术, 以我国自行研制的机械产品集成开发平台/ 金银花(LONICERA) 0为设计平台, 在 HP 工作站上开发了/ 航空发动机工作叶片设计建模子系统0. 本系统可以对压气机和涡轮工作叶片进行特征建模. 建模完成后, 通过 STEP 标准转换, 完成了模型由设计平台向分析平台的传递, 并成功地完成了模型的有限元静强度和振动分析.

1 叶片特征分析

现代航空发动机的工作叶片大体上由叶身、榫头、缘板几个基本部分组成, 有些叶片还有叶冠、阻尼台和中间叶根, 考虑到叶片的固定与锁紧, 还引入了凸块、环向槽和轴向槽等辅助部分.

叶片上的结构统称为叶片特征. 叶身(aero2foil) 是叶片的最重要的部分, 也是叶片的基体. 从功能的角度考虑, 其它叶片特征都是为了完成特定的功能而附着于叶身上的. 这样, 可以按结构功能把叶片特征分为 5 种类型(如图 1) , 并将各种结构细节分别概括其中.

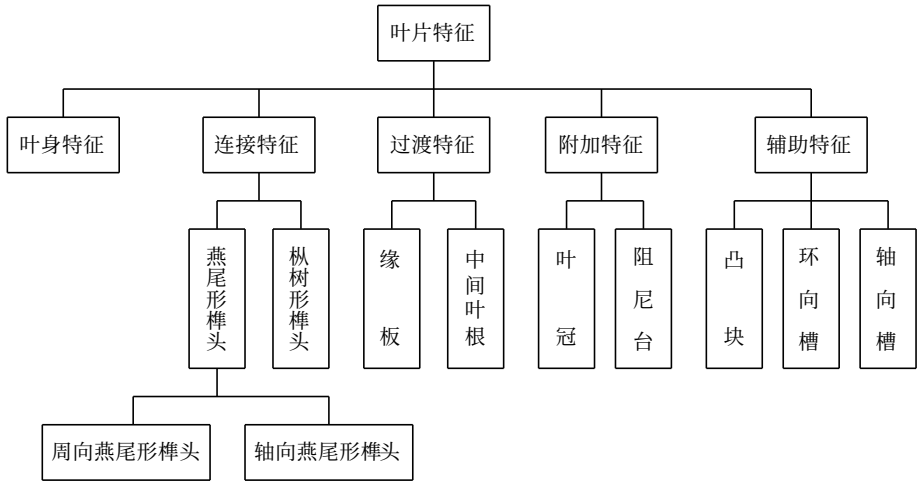


图 1 叶片特征体系

收稿日期: 1998204208 第一作者 男 25 岁 硕士生 100083 北京
1) 国家部委基金资助项目

2 叶片特征的定义与表达

按照 STEP 标准所规定的产品数据描述语言 Express 实现对各种叶片特征的描述以保证集成过程的一致性. 现仅以叶身为例, 说明叶片特征的实现方法.

叶身特征的 Express2L 定义为:

```
ENTITY blade _ aerofoil
  SUBTYPE OF (non _ rotary _ feature);
  aerofoil _ filename:    STRING;
  section _ number:       INTEGER;
  location _ para:        REAL;
  root _ fillet:          REAL;
  height:                 REAL;
  tip _ angle:            REAL;
  bottom _ angle:         REAL;
  T _ para:               REAL;
  vertex _ geo _ para:    ARRAY [8: 8] OF RE2
AL;
  END _ ENTITY;
```

叶身特征的 Express2G 表达如图 2. 上述定义及图 2 中所用到的标识符含义如下:

blade _ aerofoil))) 叶身. 根据航空发动机的 STEP 特征定义, 叶片特征继承于非回转体特征(non _ rotary _ feature). 叶身型面数据包括沿叶高方向选取的截面数(section _ number), 及这几个截面的叶型截面曲线型值点的坐标, 数据由气动设计人员提供, 一般是以 ASCII 码文件(aerofoil _ filename)的形式来传送的.

其余为描述叶身的参数(参见图 3).

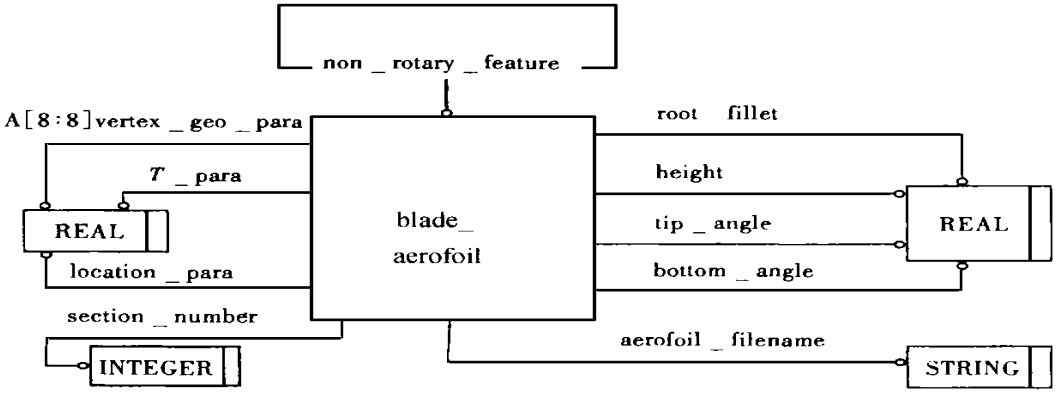
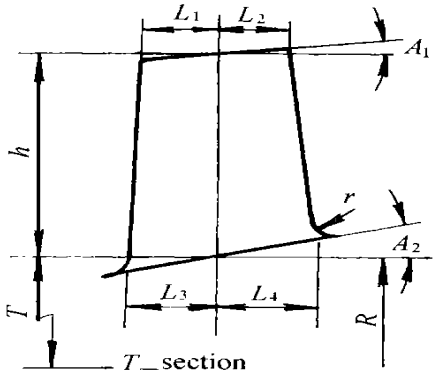


图 2 叶身特征的 Express 图形表达



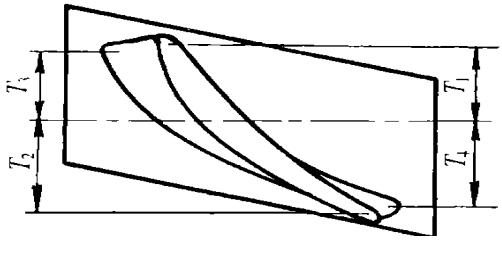


图 3 叶身特征的描述参数

location _ para))) 叶身定位参数, 即叶身底面重心到发动机轴线的距离 R;

height))) 叶身高度 h;

T _ para))) 叶根到榫头上 T 面(这是榫头设计时的一个标准定位面) 的距离 T;

tip _ angle))) 叶尖倾角 A_1;

bottom _ angle))) 叶根倾角 A_2;

root _ fillet))) 叶根处过渡圆角半径 r;

vertex _ geo _ para))) 叶尖及叶根叶型前后缘的位置 T_1~ T_4, l_1~ l_4(指截面曲线前后缘圆角中心到定位轴的距离, 为实型数组).

3 系统描述

使用 MOTIF 的用户界面语言 UIL 描述, 建立于 HP 工作站的 UNIX 系统的 X2window 环境之上. 作为金银花集成开发平台的子系统, 本叶片建模系统以内挂的形式嵌入于金银花系统之中, 具有

直观友好的图形界面.

本系统在界面设计过程中, 参照以往设计的经验, 并加以完善, 具有如下几个特点:

1) 特征构造进程的正规化

由于叶片设计中各叶片特征空间上的依赖关系(如过渡特征和附加特征依赖于叶身特征, 连接特征依赖于过渡特征), 建模时要求限制用户构造特征的顺序, 系统以图标变灰禁止使用的方式来限制用户对特征的构造顺序.

2) 输入的防错功能

在用户进入对话框的参数数据输入阶段, 没有经验的用户可能在输入中途点按系统中的其它按钮, 在未取消或确认操作的情况下转入其它操作, 导致系统错误. 为防止这种情况的发生, 系统只保留当前对话框为激活, 本系统中其它窗口及按钮全部被暂时封闭. 这时用户不能对对话框外本系统的部件进行操作(当然, 不属于本系统的其它窗口的操作不受影响) . 如果点按到对话框窗口之外, 系统将不予理睬, 并响铃警告用户. 这样可以避免由于用户的失误而导致系统逻辑结构混乱, 甚至崩溃的情况发生.

3) 多重提示的界面

系统使用图形按钮, 使按钮的功能更加直观易懂. 另外, 为帮助用户更好地理解按钮的功能, 还特别增加了文字提示. 当鼠标移入该图标按钮区域, 系统将自动在图形窗口下部的提示区显示该按钮的功能简介, 类似于 Microsoft Window 中的向导功能. 使界面更加友好, 易于操作.

4　叶片实体建模的实例

以某型涡扇发动机的压气机和涡轮工作叶片作为本系统建模的实例. 图 4 为带周向燕尾形榫头的压气机叶片, 由叶身、缘板、周向燕尾形榫头等组成. 图 5 为带轴向燕尾形榫头的压气机叶片, 由叶身、缘板、阻尼台、轴向燕尾形榫头等组成, 另外还具有环向槽等锁紧特征. 图 6 为带枞树形榫头和叶冠的低压涡轮叶片, 由叶身、中间叶根、叶冠和枞树形榫头等组成.

改变特征的搭配和数值, 可以生成各种不同类型的叶片.

5　叶片强度和振型分析

以图 4 叶片为例, 将本系统产生的几何模型通过 STEP 标准转换, 传递至分析平台(MSCPPAT2

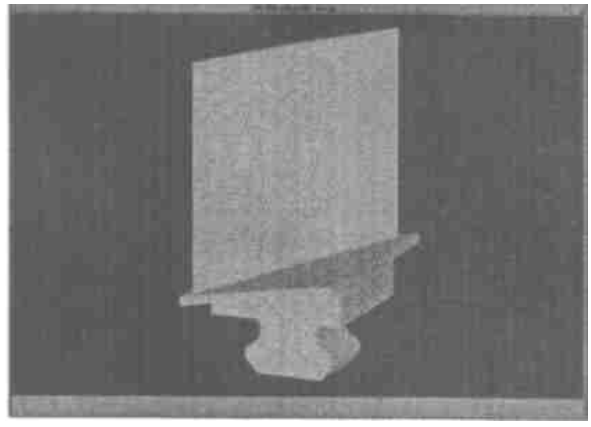


图 4　带周向燕尾形榫头的压气机叶片

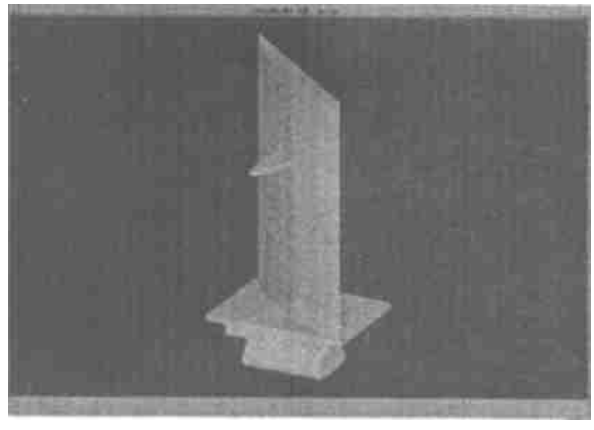


图 5　带轴向燕尾形榫头和阻尼台的压气机叶片

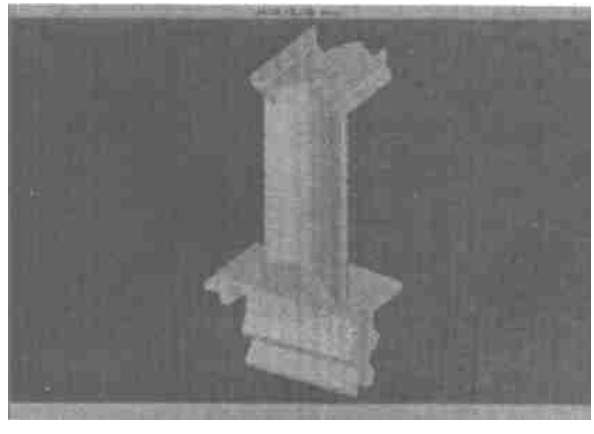


图 6　带枞树型榫头和叶冠的涡轮叶片

RANPNASTRAN) 中, 然后对叶片进行有限元强度和振型分析.

高压压气机的设计转速为 13 000 rPmin, 该级叶片处于 550 e 均温状态, 材料为 GH4169 高温合金.

边界条件的确定方法为: 叶片通过周向燕尾形榫头与轮盘相连, 认为榫头承力面上沿发动机轴线径向及轴向固定; 叶片之间通过缘板相互靠拢并周向固定, 认为缘板侧面周向固定. 忽略气动力负荷.

对于叶片有限元模型进行应力分析后得出: 叶身的最大当量应力为131.3MPa, 处于叶根的中心位置, 其值小于强度准则所规定的材料的 $R_{0.1}$ 的75% (641MPa); 榫头的最大当量应力为236.3MPa, 处于榫头的承力面上, 其值小于强度准则所规定的材料的 $R_{0.1}$ 的40% (342MPa). 各项应力指标均满足要求, 且应力分布较为均匀, 故设计可行.

在叶片非旋转状态下计算自由振动的前六阶振动频率. 其边界条件及温度和材料数据与静强度分析相同. 分析结果如表1.

表1 叶片的振动频率

阶数	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	2977	8184	9803	15263	23498	30195

6 结 论

本文针对叶片各组成部分的结构功能特点, 将叶片划分为叶身特征、连接特征、过渡特征、辅助特征及附加特征等5种基本特征. 通过对不同特征的组合以及特征参数的设定, 可以完成对不同类型叶片的设计. 在实现方面, 以基于STEP的金银花机械设计平台为基础, 遵照STEP(AP203/AP214)标准, 利用C++语言, 以面向对象的方法, 在HP工作站上开发了航空发动机工作叶片参数化特征建模设计系统. 该系统允许用户在直观友好的图形界面下进行全三维特征建模设计. 系统所产生的几何模型通过STEP标准转换, 实现了设计平台向分析平台的传递. 该系统的实现是直接利用STEP标准进行建模的有益的尝试.

参 考 文 献

1 赵 炜. 并行工程环境下基于特征的叶片设计与分析: [学位论文]. 北京: 北京航空航天大学动力系, 1998

2 Ruth M K. Parametric modeling and analysis of turbine blades for concurrent engineering environment: [dissertation]. Virginia: College of Engineering of West Virginia University, 1989

3 樊孝华. 并行工程环境下基于约束的航发叶盘设计与分析: [学位论文]. 北京: 北京航空航天大学动力系, 1997

4 Gu P, Chan K. Product modeling using STEP. Computer2Aided Design, 1995, 27(3): 163~179

Feature Modeling for Aeroengine Blades According to STEP

Zhao Wei Ma Mei

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Jet Propulsion)

Abstract Feature2based aeroengine blades design is researched in concurrent engineering environment. Based on the analysis of the basic features of various aeroengine blades, parametric feature modeling technology and object2oriented method, feature architecture of aeroengine blades, and a 3D solid blade feature modeling system are developed according to STEP (AP203/AP214) on design platform LONICERA, which is an advanced integrated mechanical (CAD/CAM) design environment developed by Beijing University of Aeronautics and Astronautics. The data exchange with STEP is accomplished. A solid model is transmitted from design platform to analysis platform (MSC/PATRAN/NASTRAN), then strength and vibration analysis of a turbo2fan engine blade is carried out.

Key words aircraft engines; blades; CAD; CAE; concurrent engineering; STEP; feature modeling